

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-317452

(43) 公開日 平成11年(1999)11月16日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 21/768
21/28

3 0 1

H 0 1 L 21/90
21/28

C

3 0 1 T

審査請求 未請求 請求項の数9 F D (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平10-204396

(22) 出願日 平成10年(1998) 7 月 3 日

(31) 優先権主張番号 特願平9-249535

(32) 優先日 平 9 (1997) 8 月 29 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平10-67867

(32) 優先日 平10(1998) 3 月 3 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号

(72) 発明者 朝比奈 通雄

長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内

(72) 発明者 守屋 直弘

長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内

(72) 発明者 松本 和己

長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内

(74) 代理人 弁理士 井上 一 (外 2 名)

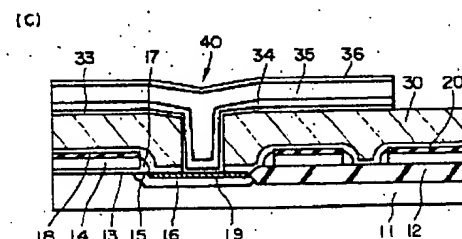
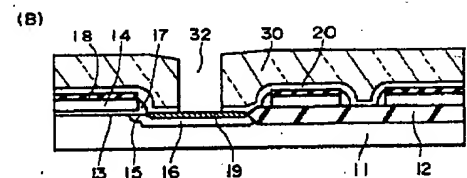
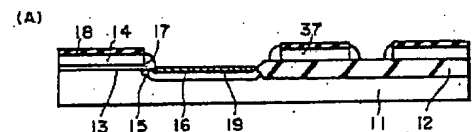
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置およびその製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 接続孔内の導電物質に Al または Al 合金を用い、空隙や断線などの発生がなく、ステップ被覆率が優れた接続構造の半導体装置とその製造法を提供する。

【解決手段】 素子を含む半導体基板 11 上に形成された SiO₂ 膜 20 と BPSG 膜 30 からなる層間絶縁膜に接続孔 32 を形成する。減圧下 300~550℃ で熱処理して層間絶縁膜中のガス化成分を除去した後、層間絶縁膜及び接続孔 32 の表面に TiN 膜/Ti 膜のバリア層 33 を形成する。基板を 100℃ 以下に冷却し、バリア層上に 200℃ 以下で Al または Al 合金の第 1 の Al 膜 34 を形成し、その上に 300℃ 以上で同様な第 2 の Al 膜 35 を形成後、さらにスパッタ法で TiN の反射防止膜 36 を形成する。次に Cl₂ と BCl₃ 混合ガスを用いバリア層、第 1 と第 2 の Al 膜及び反射防止膜の堆積層をエッチングして金属配線層 40 はパターン化され、良好なステップ被覆率で接続孔に Al が埋込まれる。



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 素子を含む半導体基板、
前記半導体基板の上に形成され、熱処理によってガス化成分が除去された層間絶縁膜、
前記層間絶縁膜に形成されたコンタクトホール、
前記層間絶縁膜および前記コンタクトホールの表面に形成されたバリア層、および前記バリア層の上に形成された、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなるアルミニウム膜、
を含む半導体装置。

【請求項2】 請求項1において、
前記バリア層と前記アルミニウム膜との間に、該アルミニウム膜に対する濡れ性を高めるためのウェットティング層を有さない半導体装置。

【請求項3】 請求項1または2において、
前記バリア層は、該バリア層を構成する金属のオキシドを部分的に含む半導体装置。

【請求項4】 以下の工程（a）ないし（f）を含む半導体装置の製造方法。

（a）素子を含む半導体基板の上に形成された層間絶縁膜にコンタクトホールを形成する工程、（b）減圧下において、300～550℃の基板温度で熱処理することにより、前記層間絶縁膜に含まれるガス化成分を除去する脱ガス工程、（c）前記層間絶縁膜および前記コンタクトホールの表面にバリア層を形成する工程、（d）基板温度を100℃以下に冷却する工程、（e）前記バリア層の上に、200℃以下の温度で、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなる第1のアルミニウム膜を形成する工程、および（f）前記第1のアルミニウム膜の上に、300℃以上の温度で、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなる第2のアルミニウム膜を形成する工程。

【請求項5】 請求項4において、
前記工程（e）において、前記バリア層の上に前記第1のアルミニウム膜に対する濡れ性を高めるためのウェットティング層を形成せずに、前記バリア層上に第1のアルミニウム膜を直接形成する半導体装置の製造方法。

【請求項6】 請求項4または5において、
前記工程（e）および（f）でのアルミニウム膜の形成は、スパッタ法で行われる半導体装置の製造方法。

【請求項7】 請求項4～6のいずれかにおいて、
前記工程（e）および（f）でのアルミニウム膜の形成は、同一チャンバ内で連続的に行われる半導体装置の製造方法。

【請求項8】 請求項4～7のいずれかにおいて、
前記工程（d）、（e）および（f）は、減圧状態が保たれている複数のチャンバを有する同一の装置内で連続的に行われる半導体装置の製造方法。

【請求項9】 請求項4～8のいずれかにおいて、
前記工程（c）の後に、前記バリア層中に酸素を導入さ

せる工程を含む半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置およびその製造方法に関し、特に微細化が可能であって、かつアルミニウムを用いたコンタクト構造を有する半導体装置およびその製造方法に関する。

【0002】

【背景技術】LSIなどの半導体装置においては、素子の微細化、高密度化および多層化に伴い、アスペクト比の大きいコンタクトホールが必要とされている。このようなコンタクトホールへの配線材料の埋め込みは難しく、近年、重要な技術的課題となっている。そして、配線材料として有用なアルミニウムあるいはアルミニウム合金によってコンタクトホール内を埋め込むことが試みられている。

【0003】そのための技術として、例えば、特開昭64-76736号公報に開示された技術がある。この技術においては、まず、150℃以下の温度においてアルミニウムあるいはアルミニウム合金を堆積させ、次いでアルミニウムまたはアルミニウム合金をバイアススパッタによって堆積させ、2ステップでアルミニウム膜をコンタクトホールに埋め込む製造方法が開示されている。

【0004】この技術によれば、第1層目のアルミニウム膜を比較的均一に堆積させることができ、カバレッジ性がかなり改善されるものの、ボイドなどの発生によりコンタクトホール内の導電部において断線部が発生する問題については十分に改善されたとはいえない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、コンタクトホール内の導電物質としてアルミニウムあるいはアルミニウム合金を用い、ボイドや断線などの発生がなく、ステップカバレッジが優れたコンタクト構造を有する半導体装置、およびその製造方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体装置の製造方法は、以下の工程（a）ないし（f）を含む。

【0007】（a）素子を含む半導体基板の上に形成された層間絶縁膜にコンタクトホールを形成する工程、

（b）減圧下において、300～550℃の基板温度で熱処理することにより、前記層間絶縁膜に含まれるガス化成分を除去する脱ガス工程、（c）前記層間絶縁膜および前記コンタクトホールの表面にバリア層を形成する工程、（d）基板温度を100℃以下に冷却する工程、（e）前記バリア層の上に、200℃以下の温度で、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなる第1のアルミニウム膜を形成する工程、および（f）前記第1のアルミニウム膜の上に、300℃以上の温度で、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分

3

とする合金からなる第2のアルミニウム膜を形成する工程。

【0008】この半導体装置の製造方法における特徴のひとつは、工程(b)において特定の条件下で前記層間絶縁膜に含まれるガス化成分を除去する工程(脱ガス工程)を含むことにある。この脱ガス工程を経ることにより、後の工程、例えば、300℃以上の高温条件下で行われる第2のアルミニウム膜の形成工程などにおいて、層間絶縁膜に含まれる水、窒素、水素あるいは酸素などのガスの発生を抑制することができる。

【0009】本願発明者によれば、このような層間絶縁膜から発生するガスは、バリア層に吸収され、かつコンタクトホール内のアルミニウム膜には吸収されないことが確認されている。従って、工程(b)により層間絶縁膜に含まれるガス化成分を除去することにより、このようなガスがバリア層と第1のアルミニウム膜との間に存在することによる、バリア層の濡れ性の低下やボイドの発生を確実に抑制することができる。その結果、コンタクトホール内にカバレッジが良好で低抵抗のアルミニウム膜からなるコンタクト部を形成することができる。

【0010】ここにおいて、「ガス化成分」とは、例えば、減圧下において、基板温度が300℃以上の時に、堆積層、すなわち層間絶縁膜あるいはバリア層から発生する水、水素、酸素あるいは窒素などのガス成分をいう。また、「減圧下」とは、好ましくは2.6Pa以下、より好ましくは1.3Pa以下の気圧をいう。

【0011】また、本発明においては、前記工程(d)において、基板温度を100℃以下、好ましくは常温～50℃に冷却する。この工程(d)で基板温度を冷却することにより、第1のアルミニウム膜を成膜する前に基板温度を十分に下げることができる。前記工程(b)の脱ガス工程で基板温度を300℃以上の高温にするため、この工程(d)で基板温度を確実に低下させることにより、以後の工程(e)での温度調節を確実に行うことができる。また、この工程(d)を経ることにより、第1のアルミニウム膜を成膜する際に、層間絶縁膜およびバリア層、さらにウエハ全面から放出されるガス量を極力少なくすることができる。その結果、バリア層と第1のアルミニウム膜との界面に吸着する、カバレッジ性や密着性に有害なガスの影響を防ぐことができる。

【0012】前記工程(e)において、前記バリア層の上に、200℃以下、好ましくは30～100℃の温度で、第1のアルミニウム膜を形成することにより、前記層間絶縁膜およびバリア層に含まれるガス化成分をガス化させることを抑制でき、バリア層から外部に発生するガスによるバリア層の濡れ性の低下を防止することができる。その結果、第1のアルミニウム膜をバリア層に対して良好に密着させることができ、ステップカバレッジの良い成膜が可能である。

【0013】そして、この第1のアルミニウム膜がある

(3)

4

ことにより、基板の温度が上がったとしても、第1のアルミニウム膜より下層の層間絶縁膜およびバリア層からのガスの発生を抑制することができるため、第2のアルミニウム膜の成膜工程(f)において、比較的高い温度、すなわちアルミニウムあるいはアルミニウム合金が流動拡散できる程度の高い温度、具体的には300℃以上、好ましくは350～450℃で第2のアルミニウム膜を形成することができる。

【0014】このように、工程(e)において比較的低い温度で第1のアルミニウム膜を形成する工程、および工程(f)において比較的高い温度で第2のアルミニウム膜を形成することにより、ボイドの発生がなく良好なステップカバレッジのコンタクトホールへの埋め込みが可能となる。さらに、本発明の製造方法は、0.2μmのコンタクトホールに適用できることが確認されている。

【0015】また、前記バリア層の表面には、いわゆるウェッティング層を形成しないことが望ましい。ウェッティング層は、例えば、コンタクトホールの径が0.5μm以下で、アスペクト比が1～4の微細なコンタクトホールへ導電物質を埋め込む場合に、バリア層の表面に前記導電物質に対する濡れ性を高めるために形成されるものであり、通常、チタンなどの高融点金属の膜によって形成される。しかし、本願発明者によれば、チタンなどの金属膜は、比較的、水や水素を含みやすいことが確認されている。したがって、バリア層の表面にウェッティング層を形成しないことにより、ガス化成分の量をウェッティング層を有する場合に比べて低減させ、ボイドの発生原因となるガスの発生をより抑制することができる。

【0016】前記工程(e)および(f)におけるアルミニウム膜の成膜は、スパッタ法が望ましく、さらに第1のアルミニウム膜および第2のアルミニウム膜は同一チャンバ内で連続的に行われることが望ましい。このようにアルミニウム膜の成膜を同一チャンバ内で連続的に行うことにより、基板温度のコントロールが容易であると共に、雰囲気制御なども正確にすることができ、第1のアルミニウム膜の表面に酸化膜が形成されるなどの不都合を回避することができる。

【0017】また、前記工程(d)、(e)および(f)は、減圧状態が保たれている複数のチャンバを有する同一装置内で連続的に行われることが好ましい。これにより、基板の移動、設置の工程の減少が図られ、その結果、工程の簡便化および基板の汚染を防止することができる。

【0018】さらに、前記工程(c)のバリア層の形成工程の後に、前記バリア層中に酸素を導入させて、バリア層中に該バリア層を構成する金属のオキไซด์を部分的に形成することにより、バリア性を向上させることが望ましい。前記バリア層に酸素を導入させる方法として

5

は、基板を酸素プラズマ中にさらしたり、あるいは酸素雰囲気中で熱処理する方法を採用できる。

【0019】以上のような製造方法によって形成された半導体装置は、素子を含む半導体基板、前記半導体基板の上に形成され、熱処理によってガス化成分が除去された層間絶縁膜、前記層間絶縁膜に形成されたコンタクトホール、前記層間絶縁膜および前記コンタクトホールの表面に形成されたバリア層、および前記バリア層の上に形成された、アルミニウムあるいはアルミニウムを主成分とする合金からなるアルミニウム膜、を含む。

【0020】この半導体装置においては、熱処理によってガス化成分が除去された層間絶縁膜を有することを特徴とし、上述したように、良好なステップカバレッジのアルミニウム膜からなるコンタクト部を有する。

【0021】また、本発明のコンタクト構造は、MOS素子のソース領域やドレイン領域を構成する不純物拡散層の表面に形成されたシリサイド層に好適に適用できるが、これに限定されず、他の領域あるいはシリサイド層を有しない不純物拡散層におけるコンタクトにも適用することができる。

【0022】さらに、本発明におけるコンタクトホールは、異方性のドライエッチングによって形成されたものの他に、等方性のウェットエッチングと異方性のドライエッチングとを組み合わせるコンタクトホールの上端部を適度にテーパ状に形成させたものであってもよい。例えば、このタイプのコンタクトホールであって、下部の異方性のドライエッチングによって形成された部分の口径が $0.5 \sim 0.8 \mu\text{m}$ で、アスペクト比が $0.5 \sim 3$ の場合には、第2のアルミニウム膜を $300 \sim 350^\circ\text{C}$ で成膜できるため、高温仕様でない一般的なスパッタ装置を使用できるので、実用上きわめて有用である。

【0023】

【発明の実施の形態】図1(A)～(C)は、本発明に係る半導体装置の製造方法および半導体装置の一実施の形態を説明するための概略断面図である。

【0024】以下に、半導体装置の製造方法の一例を示す。

【0025】(素子の形成) まず、一般的に用いられる方法によって、シリコン基板11にMOS素子が形成される。具体的には、例えば、シリコン基板11上に選択酸化によってフィールド絶縁膜12が形成され、アクティブ領域にゲート酸化膜13が形成される。チャネル注入により、しきい値電圧を調整した後、モノシラン(SiH_4)を熱分解して成長させたポリシリコン膜の上にタングステンシリサイドがスパッタされ、さらにシリコン酸化膜18を積層し所定パターンにエッチングすることにより、ゲート電極14が形成される。このとき、必要に応じて、フィールド絶縁膜12上にポリシリコン膜およびタングステンシリサイド膜からなる配線層37が形成される。

(4)

6

【0026】次いで、リンをイオン注入することによりソース領域あるいはドレイン領域の低濃度不純物層15が形成される。次いで、ゲート電極14のサイドにシリコン酸化膜からなる側壁スペーサ17が形成された後、ヒ素をイオン注入し、ハロゲンランプを用いたアニール処理によって不純物の活性化を行うことにより、ソース領域あるいはドレイン領域の高濃度不純物層16が形成される。

【0027】次に、 100 nm 以下のシリコン酸化膜を気相成長させ、 HF と NH_4F の混合水溶液で選択的にエッチングすることにより、所定のシリコン基板領域を露出させる。続いて、例えばチタンを $30 \sim 100 \text{ nm}$ 程度の膜厚でスパッタし、酸素を 50 ppm 以下に制御した窒素雰囲気中において $650 \sim 750^\circ\text{C}$ の温度で数秒～60秒程度の瞬間アニールを行うことにより、開口したシリコン基板表面にチタンのモノシリサイド層が、シリコン酸化膜18上にはチタンリッチのチツ化チタン(TiN)層が形成される。次いで、 NH_4OH と H_2O の混合水溶液中に浸漬すると、前記 TiN 層はエッチングされてシリコン基板表面のみにチタンのモノシリサイド層が残る。さらに、 $750 \sim 850^\circ\text{C}$ のランプアニールを行って、前記モノシリサイド層をダイシリサイド化させて、高濃度不純物層16の表面に自己整合的にチタンシリサイド層19が形成される。

【0028】なお、ゲート電極14をポリシリコンのみで形成して選択エッチングで露出させた場合には、ゲート電極とソース、ドレイン領域の両者が側壁スペーサで分離されたチタンシリサイド構造になる。

【0029】(層間絶縁膜の形成) 次に、層間絶縁膜の一部として、まず、テトラエトキシラン(TEOS)と酸素とをプラズマ反応させることにより、膜厚 $100 \sim 200 \text{ nm}$ のシリコン酸化膜20が形成される。このシリコン酸化膜20は、チタンシリサイド層19の酸化やカスピングもなく、 SiH_4 から成長させた膜より絶縁性も高くフッ化水素の水溶液に対するエッチング速度も遅く、緻密な膜となる。

【0030】ここでは、チタンシリサイド層19上に直接シリコン酸化膜を形成させるが、このときの成膜温度が高いと成膜初期に酸化性ガスとチタンシリサイドとが簡単に反応してクラックや剥離を生じ易いため、処理温度は好ましくは 600°C 以下、より好ましくは $250 \sim 400^\circ\text{C}$ で行うことが望ましい。そして、シリコン酸化膜がチタンシリサイド層19上に 100 nm 程度の膜厚で前述した比較的低温で形成された後は、水蒸気以外の酸化雰囲気中にさらされるアニールや気相酸化処理であれば、温度を 900°C 位まで上げて問題とならない。

【0031】次に、層間絶縁膜の一部として、前記シリコン酸化膜20上に、 SiH_4 あるいは TEOS などのシラン化合物と、酸素やオゾン等と、リンおよびホウ素を含むガスを気相反応させることにより、膜厚数百 nm

(5)

8

m \sim 1 μ m位のBPSG膜30が形成される。その後、窒素雰囲気中で800 \sim 900 $^{\circ}$ Cのアニールを行い、高温フローによる平坦化を行う。なお、BPSG膜30の高温フローを行う代わりに、化学的機械的研磨(CMP)あるいは一般的に用いられるSOG膜を用いて平坦化を行うこともできる。

【0032】(コンタクトホール形成) 次いで、CHF₃とCF₄とを主ガスとした反応性イオンエッチャーで層間絶縁膜を構成するBPSG膜30およびシリコン酸化膜20を選択的に異方性エッチングすることにより、口径が0.2 \sim 0.5 μ mのコンタクトホール32が形成される。

【0033】(脱ガス処理) 次に、本発明が特徴とする脱ガス工程を含む熱処理について説明する。

【0034】まず、ランプチャンバで、 1×10^{-4} Pa以下のベース圧力、150 \sim 250 $^{\circ}$ Cの温度で30 \sim 60秒間のランプ加熱(熱処理A)を施す。次いで、別のチャンバで0.1 \sim 1.0Paの圧力でアルゴンガスを導入し、300 \sim 550 $^{\circ}$ Cの温度で、30 \sim 120秒間の熱処理(脱ガス工程; 熱処理B)を行うことによつて、脱ガス処理を行う。

【0035】この工程においては、まず、熱処理Aにおいて、主として、ウエハの裏面および側面を含むウエハ全体を加熱処理することにより、ウエハに付着している水分などを除去できる。

【0036】さらに、熱処理Bにおいて、主として、層間絶縁膜を構成するBPSG膜30中のガス化成分(酸素、水素、水、チッ素)を除去することができる。その結果、次工程のバリア層およびアルミニウム膜の形成時に、BPSG膜からのガス化成分の発生が防止できる。

【0037】本実施の形態においては、バリア層33は、バリア機能を有するバリア膜と、導電膜とからなる多層膜によって構成される。導電膜は、高抵抗のバリア膜とシリコン基板に形成された不純物拡散層、つまりソース領域あるいはドレイン領域との導電性を高めるために、バリア膜と不純物拡散層との間に形成される。バリア膜としては、一般的な物質、例えばチタン、コバルトなどのナイトライドを好ましく用いることができる。また、導電膜としては、チタン、コバルトなどの高融点金属を用いることができる。これらのチタンおよびコバルトは基板を構成するシリコンと反応してシリサイドとなる。

【0038】バリア層、例えばTiN膜/Ti膜は数十原子%のガス化成分(酸素、水素、水、チッ素)を固溶することから、これらの膜を形成する前に、層間絶縁膜のBPSG膜30中のガス化成分を除去することが、コンタクトホール内でのアルミニウム膜の成膜を良好に行う上で、極めて有効である。バリア層の下位のBPSG膜中のガス化成分を十分に除去しておかないと、バリア層の形成時の温度(通常、300 $^{\circ}$ C以上)で、BPSG

膜中のガス化成分が放出され、このガスがバリア層中に取り込まれる。さらに、このガスがアルミニウム膜の成膜時にバリア層から離脱してバリア層とアルミニウム膜との界面に出てくるため、アルミニウム膜の密着性や流動性に悪影響を与える。

【0039】(バリア層の成膜) スパッタ法により、バリア層33を構成する導電膜として、チタン膜を20 \sim 70nmの膜厚で形成し、次いで、別のチャンバで、バリア膜としてTiN膜を30 \sim 150nmの膜厚で形成する。バリア層を形成する温度は、膜厚に応じて、200 \sim 450 $^{\circ}$ Cの範囲で選択される。

【0040】次に、10 \sim 100Paの圧力で酸素プラズマ中に10 \sim 100秒間さらし、450 \sim 700 $^{\circ}$ Cの窒素または水素雰囲気中で10 \sim 60分間にわたってアニール処理することにより、バリア層中に酸化チタンを島状に形成することができる。この処理によりバリア層のバリア性を向上させることができることを確認している。

【0041】また、このアニール処理は、少なくとも数百ppm \sim 数%の酸素を含むランプアニール炉における400 \sim 800 $^{\circ}$ Cの熱処理によっても行うことができ、同様にバリア層のバリア性を向上させることができる。

【0042】(アルミニウム膜の成膜前の熱処理) まず、ウエハの冷却を行う前に、ランプチャンバ内において、 1×10^{-4} Pa以下のベース圧力、150 \sim 250 $^{\circ}$ Cの温度で30 \sim 60秒間の熱処理(熱処理C)を行い、基板に付着した水などの物質を除去する。

【0043】(ウエハの冷却) アルミニウム膜を成膜する前に、基板温度を100 $^{\circ}$ C以下、好ましくは常温 \sim 50 $^{\circ}$ Cの温度に下げる。この冷却工程は、上記熱処理Cにより上昇した基板温度を下げるために重要なものである。

【0044】このように、ウエハの冷却を行うことにより、第1のアルミニウム膜を成膜する際に、BPSG膜30およびバリア層33、さらにウエハ全面から放出されるガス量を極力少なくすることができる。その結果、バリア層33と第1のアルミニウム膜34との界面に吸着する、カバレッジ性や密着性に有害なガスの影響を防ぐことができる。

【0045】この冷却工程は、アルミニウム膜を成膜するためのチャンバと同一の構成のチャンバを複数有するスパッタ装置を兼用して行われることが望ましい。例えばチャンバ内に設けられた水冷機能を有するステージ上に基板を載置して、該基板温度を所定温度まで下げることが望ましい。以下に、この冷却工程について詳述する。

【0046】図2(a)は、水冷機能を有するステージを含むチャンバの一例の模式図を、図2(b)は、ステージの一例の平面図を示す。

【0047】スパッタ装置は、同一の構成のチャンバ5

9

0を複数備えたものである。チャンバ50内に、電極をかねるターゲット51およびステージをかねる電極52を有し、電極52上には冷却される基板(ウエハ)Wが設置されるように構成されている。チャンバ50には、チャンバ内を真空にするための排気手段60およびガスをチャンバ内に供給するための第1のガス供給路53が設けられている。電極52は、基板Wを電極52上に載置した際に、電極52と基板Wとの間に所定の空間が生じるように、具体的には図2(b)のように、電極52の上面の外周部分に沿って、突起状の支持部52aが設けられている。さらに、電極52には、第2のガス供給路54が接続されている。そして、熱伝導媒体としてのガス、たとえばアルゴンガスは、第2のガス供給路54から、電極52と基板Wとの間の空間に供給される。また、電極52は、基板Wを冷却するための冷却システムの役割も兼務している。電極52は、冷媒供給路56から供給される冷媒、たとえば水の還流により一定温度に調節される。電極52の上面は、たとえば図2(b)に示すように、前記空間に均一にガスを供給させるため、所定のパターンで溝58が形成され、溝が交差する部分に第2のガス供給路54の吹き出し口54aが設けられている。

【0048】上記のチャンバは、以下のように動作してウエハを冷却する。

【0049】チャンバ50内を排気手段60により 6×10^{-6} Pa以下の減圧状態として、電極52の支持部52a上に基板Wを載置する。電極52と基板W間の熱伝導媒体としての役割を果たすガスを、第2のガス供給路54から、電極52と基板Wとの間の空間に導入し、該空間の圧力を600~1000Paに保ち、かつ、該空間からチャンバ内に漏出したガスを排気手段60で排気しながら、基板Wを冷却する。

【0050】基板Wを冷却をする際、冷却効率を保つために電極52と基板Wとの間の空間に、ある程度の圧力が必要である。つまり、基板Wの冷却効率を高めるためには、電極52と基板Wとの間の熱コンダクタンスを向上させる必要があり、この向上のためには、電極52と基板Wとの間の空間のガス(熱伝導媒体)の圧力を高める必要がある。

【0051】基板の冷却方法として、真空チャンバにおいて、チャンバ内の冷却機構を有するステージ上に基板を載置して冷却を行う方法が考えられる。この冷却工程によると、ステージと基板との間の空間に直接にガスを供給するのではなく、該空間の圧力をチャンバ内の圧力に依存させるため、ステージと基板との間の空間の圧力を高めるためには、チャンバ内の圧力を高める必要がある。しかし、冷却効率を高めるために、チャンバ内の圧力を高めると、それだけチャンバ内のガス分子が増すので、基板Wの上面がガス分子によって汚染され易くなるという事態が生じ、それによりアルミニウムのリフロー

10

を害し、ボイドの発生および配線の高抵抗化につながる。逆にウエハの汚染を防止するため、チャンバ内の圧力を低くすると、ウエハとステージとの間の空間の圧力も低下し、これによりウエハとステージとの間の熱コンダクタンスが低下し、その結果、冷却効率が悪くなる。

【0052】上記した本実施の形態の冷却工程によれば、電極52と基板Wの裏面との間にガスを流入させ、それにより電極52と基板Wとの間の空間の圧力を確保するため、該空間の圧力は、チャンバ内の圧力から独立して制御できる。そして、基板とステージとの間の熱伝導媒体の確保の観点から、チャンバ内の圧力を、前記空間の圧力と独立して、圧力 $1 \times 10^{-3} \sim 0.1$ Paまで抑えることができる。これにより、ガス分子による基板の上面の汚染を確実に防止することができ、その結果、アルミニウムのリフロー性の向上および低抵抗化がもたらされる。さらに、チャンバ内の圧力を高めることなく、前記空間の圧力を、600~1300Paの範囲に設定することができるために、熱コンダクタンスが向上し、冷却効率を高めることができる。このように、この冷却工程によれば、基板Wと電極52との間の空間の圧力を高めつつ、チャンバ内の圧力を下げることができるので、基板の汚染を防ぎながら、良好な冷却効率を得ることができる。

【0053】(アルミニウム膜の成膜) まず、200℃以下、より好ましくは30~100℃の温度で、0.2~1.0重量%の銅を含むアルミニウムを膜厚150~300nmでスパッタによって高速度で成膜し、第1のアルミニウム膜34が形成される。続いて、同一チャンバ内で基板温度350~460℃に加熱して、同様に銅を含むアルミニウムをスパッタにより低速度で成膜し、膜厚300~600nmの第2のアルミニウム膜35が形成される。ここで、アルミニウム膜の成膜において、「高速度」とは、成膜条件や製造されるデバイスの設計事項によって一概に規定できないが、おおそ10nm/秒以上のスパッタ速度を意味し、「低速度」とは、おおそ3nm/秒以下のスパッタ速度を意味する。

【0054】アルミニウムのスパッタは、前述のウエハの冷却の際に用いられたスパッタ装置内の別のチャンバで行われる。このチャンバは、図2(a)および(b)に示すチャンバと同様の構成を有する。このように、減圧状態が保たれた同一の装置内で冷却工程およびアルミニウムの成膜の工程を行うことにより、基板の移動および設置の工程の減少が図られ、その結果、工程の簡便化および基板の汚染を防止することができる。

【0055】ここで、第1のガス供給路53および第2のガス供給路54からは、いずれもアルゴンガスが供給される。そして、第2のガス供給路54から供給されるガスによって、ウエハWの温度が制御される。

【0056】このようなスパッタ装置を用いて基板温度

11

をコントロールした一例を図3に示す。図3において、横軸は経過時間を示し、縦軸は基板（ウエハ）温度を示す。また、図3において、符号aで示すラインはスパッタ装置のステージ52の温度を350℃に設定したときの基板温度変化を示し、符号bで示すラインは第2のガス供給路54を通してアルゴンガスをチャンバ内に供給することによってステージ52の温度を高めていったときの基板温度の変化を示している。

【0057】例えば、基板の温度制御は以下のように行われる。まず、ステージ52の温度は、予め、第2のアルミニウム膜を形成するための温度（350～500℃）に設定されている。第1のアルミニウム膜を形成する際には、第2のガス供給路54からのガスの供給はなく、基板温度はステージ52による加熱によって、図3の符号aで示すように徐々に上昇する。第2のアルミニウム膜を形成する際には、第2のガス供給路54を介して加熱されたガスが供給されることによって図3の符号bで示すように、基板温度は急激に上昇し、所定の温度で一定になるように制御される。

【0058】図3に示す例では、ステージ温度が350℃に設定され、そして、基板温度が125～150℃に設定されている間に第1のアルミニウム膜34が成膜され、その後すぐに第2のアルミニウム膜35の成膜が行われる。

【0059】アルミニウム膜の成膜においては、成膜速度および基板温度制御とともに、スパッタ装置に印加されるパワーの制御も重要である。つまり、成膜速度とも関連するが、第1のアルミニウム膜34の成膜は高いパワーで行われ、第2のアルミニウム膜35は低いパワーで行われ、さらに高いパワーから低いパワーに切り換える際にパワーをゼロにしないことが重要である。パワーをゼロにすると、減圧下においても第1のアルミニウム膜の表面に酸化膜が形成され、第1のアルミニウム膜に対する第2のアルミニウム膜の濡れ性が低下し、両者の密着性が悪くなる。言い換えれば、パワーを常に印加することにより、成膜中のアルミニウム膜の表面に活性なアルミニウムを供給し続けることができ、酸化膜の形成を抑制できる。なお、パワーの大きさは、スパッタ装置や成膜条件などに依存し一概に規定できないが、例えば図3に示す温度条件の場合、高パワーが5～10kW、低パワーが300W～1kWに設定されることが望ましい。

【0060】このように、同一チャンバ内で第1のアルミニウム膜34および第2のアルミニウム膜35を連続的に成膜することにより、温度およびパワーの制御を厳密に行うことができ、従来よりも低温でかつ安定したアルミニウム膜を効率よく形成することが可能となる。

【0061】前記第1のアルミニウム膜34の膜厚は、良好なステップカバレッジで連続層を形成することができること、並びに該アルミニウム膜34より下層のバリ

(7)

12

ア層33および層間絶縁膜を構成するBPSG膜30からのガス化成分の放出を抑制できることなどを考慮して、適正な範囲が選択され、例えば200～400nmが望ましい。また、第2のアルミニウム膜35は、コンタクトホールの大きさ並びにそのアスペクト比などによって決定され、例えばアスペクト比が3程度で0.5μm以下のホールを埋めるためには、300～1000nmの膜厚が必要である。

【0062】（反射防止膜の成膜）さらに、別のスパッタチャンバで、スパッタによりTiNを堆積することにより、膜厚30～80nmの反射防止膜36が形成される。その後、Cl₂とBCl₃のガスを主体とする異方性ドライエッチャーで前記バリア層33、第1のアルミニウム膜34、第2のアルミニウム膜35および反射防止膜36からなる堆積層を選択的にエッチングして、金属配線層40のパターニングを行う。

【0063】このようにして形成された金属配線層40では、アスペクト比が0.5～3で、口径が0.2～0.8μmのコンタクトホール内において、ボイドを発生させることなく良好なステップカバレッジでアルミニウムが埋め込まれることが確認された。

【0064】（実験例）

（1）図4および図5に、脱ガス工程の有無によってウエハから放出されるガスの量（分圧）の相違を調べるために行った実験結果を示す。

【0065】図4および図5において、横軸はアルミニウム膜の形成前に行われる熱処理（熱処理C）から第2のアルミニウム膜35の成膜後に至るまでの処理のタイミングを示し、縦軸はチャンバ内の残留ガスの分圧を示している。図4および図5において、符号Aで示すラインは、層間絶縁膜の形成後に脱ガス工程を経た場合、符号Bで示すラインは、層間絶縁膜の形成後に脱ガス工程を経ない場合、を示す。この実験例では、脱ガス工程は、気圧0.27Pa、温度46.0℃、時間120秒で行われた。

【0066】各図において、横軸の符号aおよびbは、アルミニウム膜の成膜前に行われる熱処理C（第1のチャンバ）におけるタイミングを示し、符号aは第1のチャンバ内にウエハを入れた直後の時、符号bはランブ加熱によってウエハを250℃で60秒間加熱した時、を示す。第1のチャンバでは、気圧は 2.7×10^{-6} Paに設定されている。

【0067】符号cおよびdは、ウエハの冷却工程（第2のチャンバ）におけるタイミングを示し、符号cは第2のチャンバ内にウエハを入れた直後の時、符号dはウエハの温度を20℃まで冷却した時、を示す。第2のチャンバでは、気圧は0.27Paに設定されている。そして、分圧を測定する際には、チャンバの気圧を 2.7×10^{-6} Paまで減圧した。

【0068】符号e、fおよびgは、アルミニウム膜の

13

成膜工程（第3のチャンバ）におけるタイミングを示し、符号eは第3のチャンバ内にウエハを入れた直後の時、符号fは第1のアルミニウム膜を成膜した直後の時、および符号gは第2のアルミニウム膜を成膜した直後の時、を示す。第3のチャンバでは、気圧は0.27 Paに設定されている。そして、分圧を測定する際には、チャンバの気圧を 2.7×10^{-6} Paまで減圧した。

【0069】図4および図5から、層間絶縁膜の成膜後であってバリア層の成膜前に脱ガス工程を行うことにより、その後の熱処理およびアルミニウム膜の成膜時に、水および窒素がほとんど発生しないことが確認された。これに対し、前記脱ガス工程を経ない場合には、その後の熱処理、特に符号bで示す熱処理Cの時に、水および窒素が共に多量に放出されていることがわかる。

【0070】（2）アルミニウム膜の成膜前における、ウエハの冷却工程の有無によって、アルミニウムの成膜にどのような影響がもたらされるかを調べるために実験を行ったところ以下の知見が得られた。なお、アルミニウムの成膜は、コンタクトホールのアスペクト比3.18、層間絶縁膜の膜厚1148 nmの条件において行った。図8（a）は、ウエハを熱処理Cの温度120℃から20℃まで冷却した後に、アルミニウムを成膜した場合における、ウエハの断面の電子顕微鏡写真から求めた図を示し、図8（b）は、ウエハを冷却せずに、熱処理Cの温度120℃でアルミニウムを成膜した場合におけるウエハの断面の電子顕微鏡写真から求めた図を示す。

【0071】ウエハを冷却した場合のアルミニウムの成膜後の基板と、冷却をしない場合のそれとを比較検討したところ、冷却をした場合においては、図8（a）に示すように、コンタクトホールに第1および第2のアルミニウム膜（A1）が極めて良好に埋め込まれていたのに対し、冷却をしない場合においては、図8（b）に示すようにコンタクトホールの底部にアルミニウム膜が完全に埋め込まれず、空間（ボイド）100が生じてしまうコンタクトホールが、ウエハ上のコンタクトホール数のうち3割程度発生した。

【0072】（3）図6および図7は、セシウム1次イオンの照射による2次イオン質量分析法（SIMS）による測定結果を示す。

【0073】図6は、バリア層と第1のアルミニウム膜との間にウェットティング層を有しない場合の膜構造（TiN膜/A1膜/TiN膜/Ti膜）を有する積層体のデータを示し、図7は、バリア層と第1のアルミニウム膜との間にチタンからなるウェットティング層を有する場合の膜構造（TiN膜/A1膜/Ti膜/TiN膜/Ti膜）を有する積層体のデータである。図6および7において、左側の縦軸は、A1膜における、水素、窒素および酸素を定量的に示し、右側の縦軸はA1膜以外の層の2次イオン強度を示している。

(8)

14

【0074】なお、図6に示す実験のサンプルは、前記（C）の脱ガス工程を行わない他は前述した方法によって形成されたものである。また、図7に示す実験のサンプルは、図6に示す実験のサンプルと、A1膜の下にTi膜を有する点で異なる。

【0075】図6および7から、A1膜中では、水素、酸素および窒素は、バックグラウンド・レベルであってSIMSでの限界検出濃度以下であり、ほとんど固溶されないことが確認された。

10 【0076】また、ウェットティング層（Ti膜）がある場合、図7に示すように、この膜中に符号PHでしめす水素（H）の大きなピークがあり、よってウェットティング層に多量の水素が含まれることがわかる。

【0077】以上のことから、ウェットティング層がある場合には、その後のアルミニウム膜の成膜時にプラズマの輻射熱等により該ウェットティング層中のHあるいはOHが励起されて水あるいは水素ガスとして放出されると、これらのガスはアルミニウム膜中に固溶されないの
20 原因となる。

【0078】このように、ウェットティング層（Ti膜）は、一般にアルミニウム膜に対する濡れ性を向上させるために形成されるが、その後の加熱工程で上述した問題を発生させる原因となることが、解明された。特に、コンタクトホール形成後のウエハは、部分的に吸湿しているところがあり、ウェットティング層の存在によって吸湿部分でのボイドによるコンタクト不良やエレクトロマイグレーション不良が発生しやすいことが確認された。

30 【0079】また、ウェットティング層がある場合には、ウェットティング層を構成するチタンが、第1のアルミニウム膜の形成時にアルミニウムと反応して Al_3Ti などの化合物が部分的に形成され、これが第2のアルミニウム膜の成膜時に存在すると、アルミニウムの表面流動性を低下させるため、アルミニウムの埋込が不完全となってボイドが形成されやすくなる。この現象は、特にコンタクトホールの入り口で生じやすく、いわゆるピンチオフが発生しやすくなる。そして、このピンチオフは、0.3 μm以下の径を有するコンタクトホールの埋込において生じやすい。

40 【0080】さらに、ウェットティング層がある場合には、このウェットティング層を構成するチタンがバリア層中に存在する酸化チタンを還元し、バリア層のバリア性を低下させることがある。

【0081】このような理由によって、ウェットティング層は、少なくとも第1層目の配線層では形成されることが望ましい。そして、ウェットティング層が形成されないと、そのための工程を必要としないので製造工程を短縮できる。

50 【0082】本発明においては、前述したように、コンタクトホールの形成後に層間絶縁膜の脱ガス処理を行

(9)

15

い、さらにアルミニウム膜の成膜前にウエハを十分に冷却する工程を有することにより、ウェットティング層を形成しなくとも、バリア層と第1のアルミニウム膜とは十分な密着性を有する。そして、第1のアルミニウム膜より下層に含まれる水素、窒素、酸素などのガスは脱ガス処理によって十分に除去され、しかも、これらのガスは第1のアルミニウム膜を通過できないため、第1のアルミニウム膜の表面は非常に清浄である。したがって、第2のアルミニウム膜の形成時には、第1のアルミニウム膜の表面をアルミニウムが円滑に流動して良好な埋込層が形成される。

【0083】本発明において、コンタクトホールに第1および第2のアルミニウム膜34、35が良好に埋め込まれた理由としては、以下のことが考えられる。

【0084】(a) 脱ガス工程を行うことにより、層間絶縁膜、特にBPSG膜に含まれる水や窒素をガス化して十分に放出することにより、その後の第1のアルミニウム膜34および第2のアルミニウム膜35の成膜においてBPSG膜30やバリア層33からのガスの発生を防止することで、バリア層33と第1のアルミニウム膜34との密着性を高め良好なステップカバレッジの成膜が可能であったこと。

【0085】(b) 第1のアルミニウム膜34の成膜において、基板温度を200℃以下の比較的低温に設定することにより、BPSG膜30およびバリア層33に含まれる水分や窒素を放出させないようにして、前記脱ガス工程の効果に加えて第1のアルミニウム膜34の密着性を高めたこと。

【0086】(c) さらに、第1のアルミニウム膜34自体が、基板温度が上がった場合に下層からのガスの発生を抑制する役割を果たすため、次の第2のアルミニウム膜35の成膜を比較的高い温度で行うことができ、第2のアルミニウム膜の流動拡散を良好に行うことができること。

【0087】以上のように、本発明によれば、アルミニウム膜のスパッタ前に少なくとも脱ガス工程と冷却工程を含み、さらに同一チャンバ内で連続的にアルミニウム膜を成膜することにより、0.2μm程度までのコンタクトホールをアルミニウムあるいはアルミニウム合金だけで埋め込むことが可能となり、信頼性および歩留まりの点で向上がはかれた。また、コンタクト部を構成するアルミニウム膜における銅等の偏析や結晶粒の異常成長もなく、マイグレーション等を含めた信頼性の点でも良好であることが確認された。

【0088】なお、上記実施の形態では、Nチャネル型MOS素子を含む半導体装置について説明したが、Pチャネル型あるいはCMOS型素子を含む半導体装置にも

16

適用することができる。

【0089】また、上記実施の形態では、第1層目のコンタクトホールでのアルミニウム膜の埋込について説明したが、第2層目以上（第2層目、第3層目および第4層目）の配線層におけるアルミニウム膜の埋込についても、同様の効果を確認している。

【0090】

【図面の簡単な説明】

【図1】(A)、(B)および(C)は本発明の半導体装置の製造方法の一例を工程順に模式的に示す断面図である。

【図2】図2(a)は、本発明に係る実施の形態に用いられるスパッタ装置の一例を模式的に示す図であり、図2(b)は、ステージの一例を示す平面図を示す。

【図3】図2に示すスパッタ装置を用いて基板温度を制御したときの、時間と基板温度との関係を示す図である。

【図4】本発明に係る半導体装置の製造方法における、処理タイミングとチャンバ内の残留ガス(水)の分圧の関係を示す図である。

【図5】本発明に係る半導体装置の製造方法における、処理タイミングとチャンバ内の残留ガス(窒素)の分圧の関係を示す図である。

【図6】ウェットティング層を有さない層構造におけるSIMSのデータを示す図である。

【図7】ウェットティング層を有する層構造におけるSIMSのデータを示す図である。

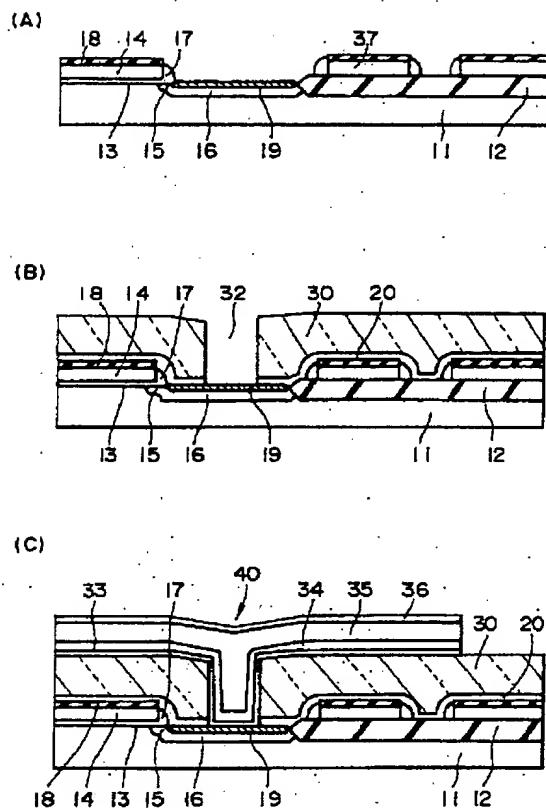
【図8】図8(a)は、ウエハを冷却した後に、アルミニウムを成膜した場合における、ウエハの断面の電子顕微鏡写真に基づく図を示し、図8(b)は、ウエハを冷却せずに、アルミニウムを成膜した場合におけるウエハの断面の電子顕微鏡写真に基づく図を示す。

【符号の説明】

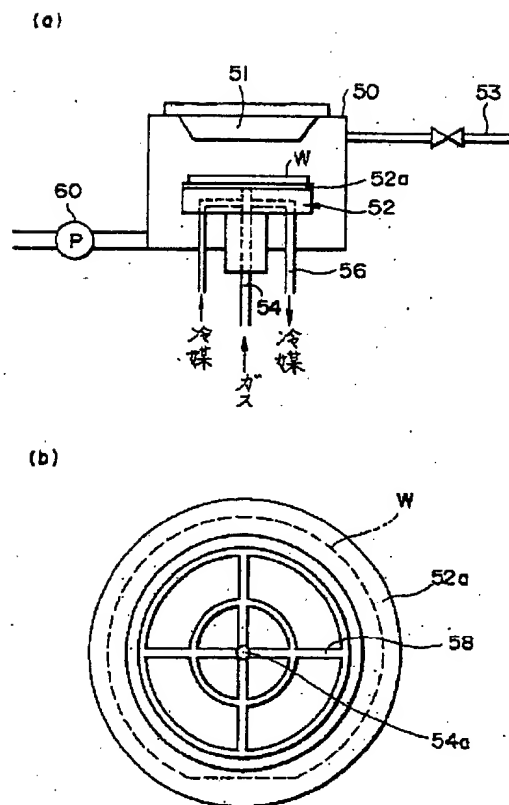
- 11 シリコン基板
- 12 フィールド絶縁膜
- 13 ゲート酸化膜
- 14 ゲート電極
- 15 低濃度不純物層
- 16 高濃度不純物層
- 17 側壁スペーサ
- 18, 20 シリコン酸化膜
- 19 チタンシリサイド層
- 30 BPSG膜
- 32 コンタクトホール
- 33 バリア層
- 34 第1のアルミニウム膜
- 35 第2のアルミニウム膜

(10)

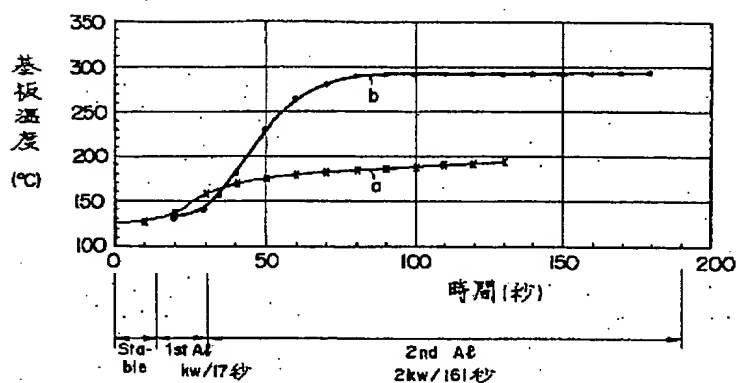
【図1】



【図2】

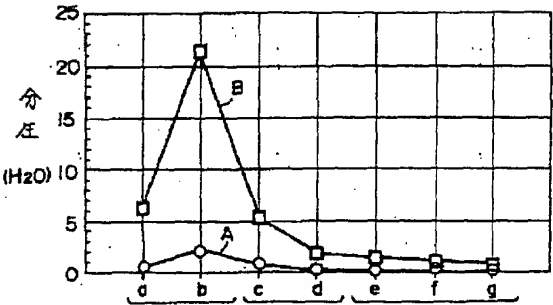


【図3】

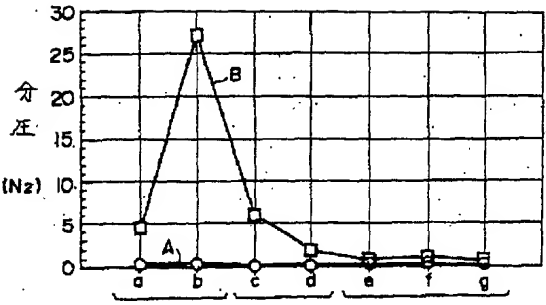


(11)

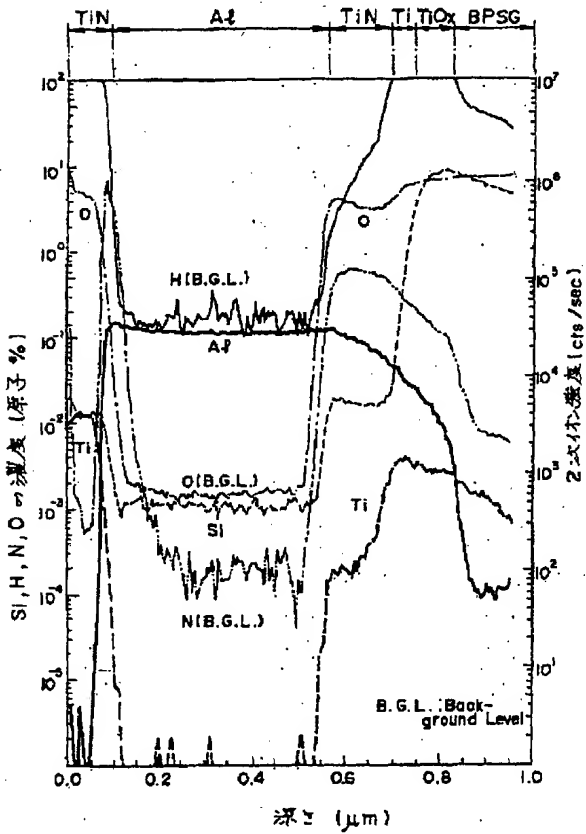
【図4】



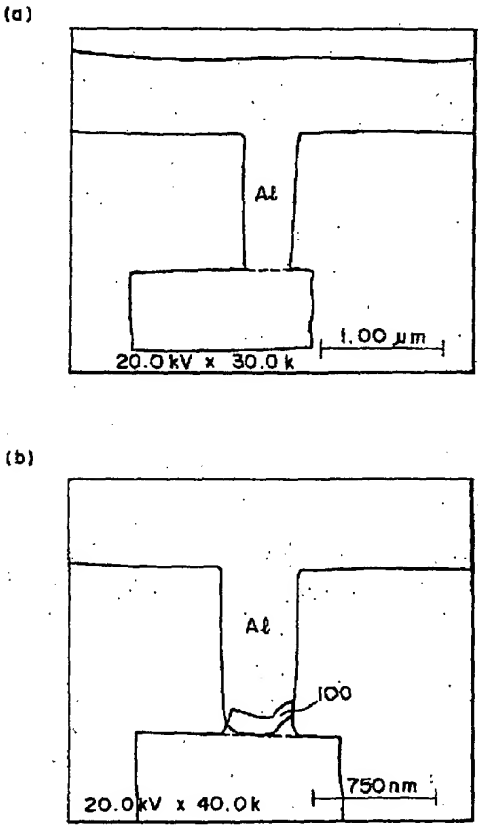
【図5】



【図6】

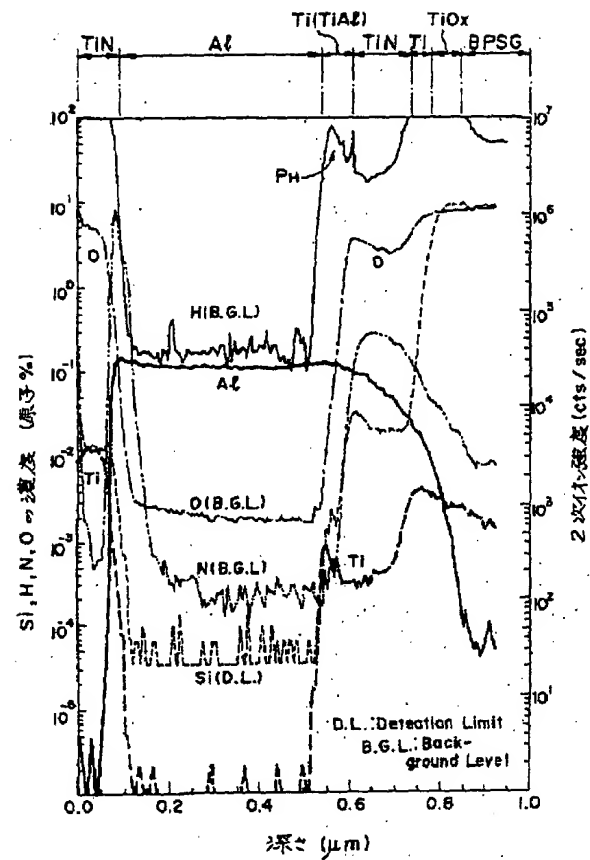


【図8】



(12)

【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 竹内 淳一
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコ
ーエプソン株式会社内